



Analisis Kinerja Sistem *Hybrid* PLTS dan PLTB *Horizontal* *Off - Grid* di Daerah Pulau Pagerungan Kecil

Nouvan Nur Farin¹, Andi Ulfiana^{1*}, Fitri Wijayanti¹, Dana Saputra²

¹Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

²Direktur Utama, PT Alana Green Electric, Gedung Arva Cikini Lt. 3, Jl. Cikini Raya No. 60, Menteng, Jakarta Pusat, Indonesia.

*Corresponding author E-mail address: andi.ulfiana@mesin.pnj.ac.id

Abstrak

Ketersediaan energi listrik di wilayah tertinggal, terdepan, dan terluar (3T) masih menghadapi tantangan akibat keterbatasan jaringan listrik dan fluktuasi produksi energi terbarukan. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi kinerja sistem hybrid PLTS–PLTB off-grid berdasarkan data operasional aktual. Penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja sistem hybrid PLTS dan PLTB horizontal off-grid di Pulau Pagerungan Kecil, Kabupaten Sumenep, menggunakan metode deskriptif kuantitatif berdasarkan data monitoring inverter. Parameter yang dianalisis meliputi produksi energi PLTS, produksi energi PLTB, kebutuhan beban listrik, serta kinerja baterai berdasarkan nilai *State of Charge* (SOC) dan *Depth of Discharge* (DoD). Hasil penelitian menunjukkan bahwa produksi energi PLTS sebesar 18,642 kWh dan 27,853 kWh, sedangkan PLTB sebesar 1,277 kWh dan 1,123 kWh pada 22–23 Maret 2026. Total energi sistem hybrid mencapai 19,919 kWh dan 28,976 kWh dengan nilai SOC 35%–100% dan DoD 0%–65%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem hybrid PLTS–PLTB mampu menjaga kontinuitas pasokan listrik dan beroperasi secara andal pada wilayah kepulauan.

Kata Kunci: *Sistem Hybrid, PLTS, PLTB, Off-Grid, Energi Terbarukan.*

Abstract

The availability of electrical energy in underdeveloped, frontier, and outermost (3T) regions still faces challenges due to limited electricity networks and renewable energy production transmission. Therefore, a performance evaluation of the hybrid solar PV system – off-grid wind turbine system based on actual operational data is required. This study aims to analyze the performance of the hybrid solar PV system and horizontal off-grid wind turbine system on Pagerungan Kecil Island, Sumenep Regency, using a quantitative descriptive method based on inverter monitoring data. The parameters analyzed include solar PV energy production, wind turbine energy production, electrical load requirements, and battery performance based on *State of Charge* (SOC) and *Depth of Discharge* (DoD) values. The results showed that the energy production of the solar power plant was 18,642 kWh and 27,853 kWh, while the wind power plant was 1,277 kWh and 1,123 kWh on March 22–23, 2026. The total energy of the hybrid system reached 19,919 kWh and 28,976 kWh with SOC values of 35%–100% and DoD of 0%–65%. These results indicate that the hybrid solar power plant–wind power plant system is able to maintain continuity of electricity supply and operate locally in the island region.

Keywords: *Hybrid System, Solar Power Plant, Wind Power Plant, Off-Grid, Renewable Energy.*

1. PENDAHULUAN

Ketersediaan energi listrik yang andal masih menjadi tantangan di berbagai wilayah kepulauan Indonesia, khususnya pada daerah tertinggal, terdepan, dan terluar (3T). Kondisi geografis yang terpisah oleh lautan menyebabkan pembangunan jaringan distribusi listrik memerlukan biaya yang tinggi sehingga pemanfaatan energi baru terbarukan menjadi salah satu alternatif untuk meningkatkan akses listrik secara berkelanjutan[1]. Salah satu penerapannya adalah penggunaan sistem pembangkit hybrid pada wilayah kepulauan yang mampu menyediakan energi listrik secara mandiri tanpa bergantung pada jaringan listrik utama[2].

Sistem hybrid yang mengombinasikan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) banyak dikembangkan karena kedua sumber energi tersebut memiliki karakteristik yang saling melengkapi. Produksi energi PLTS dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari, sedangkan PLTB bergantung pada kecepatan angin sehingga kombinasi keduanya mampu meningkatkan kontinuitas pasokan energi listrik[3]. Pada sistem off-grid, energi yang dihasilkan disimpan pada baterai sebelum disalurkan ke beban melalui inverter sehingga pasokan listrik tetap terjaga ketika salah satu sumber energi mengalami penurunan produksi[4].

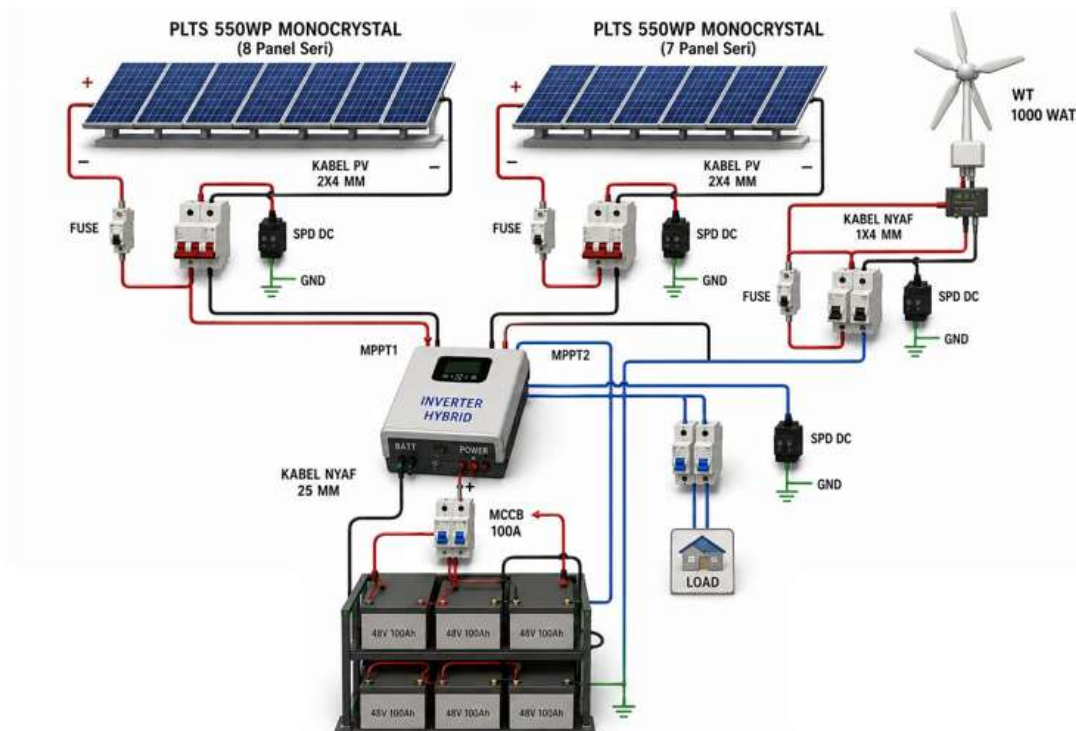
Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas pengembangan sistem hybrid PLTS–PLTB dari berbagai sudut pandang. Sudarmanto Hasan et al. [2] dan Nursalam et al. [3] menitikberatkan kajian pada optimalisasi pemanfaatan sistem hybrid, Kouhi et al[5]. Mengembangkan metode optimasi kapasitas sistem. Penelitian Wahid et al.[6] serta studi IIETA–IJDNE[7] lebih berfokus pada analisis kelayakan dan simulasi menggunakan perangkat lunak HOMER, sementara Ramadan[8] dan Nawafilah et al.[9] mengevaluasi penerapan sistem hybrid terhadap pengisian baterai dan penyediaan energi listrik. Hassan et al. [2] juga menjelaskan perkembangan teknologi sistem hybrid beserta tantangan implementasinya Hernawan et al[10]. Mengevaluasi kinerja sistem pembangkit listrik tenaga surya hybrid pada Gedung Centre of Excellence Universitas melalui analisis produksi energi dan performa sistem dalam memenuhi kebutuhan listrik bangunan. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian tersebut masih berorientasi pada tahap perancangan, optimasi, maupun simulasi sehingga evaluasi kinerja sistem berdasarkan data operasional aktual pada sistem off-grid masih relatif terbatas.

Pulau Pagerungan Kecil, Kabupaten Sumenep, merupakan salah satu wilayah yang telah memanfaatkan sistem hybrid PLTS dan PLTB horizontal sebagai sumber utama penyediaan energi listrik. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kinerja sistem hybrid berdasarkan data operasional aktual yang diperoleh melalui sistem monitoring inverter. Analisis difokuskan pada produksi energi PLTS dan PLTB, kondisi baterai berdasarkan nilai *State of Charge* (SOC), serta kemampuan sistem dalam memenuhi kebutuhan beban listrik. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi bahan evaluasi pengoperasian sistem hybrid sekaligus referensi dalam pengembangan pembangkit energi terbarukan pada wilayah kepulauan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif untuk menganalisis kinerja sistem hybrid PLTS dan PLTB horizontal off-grid di Pulau Pagerungan Kecil, Kabupaten Sumenep. Data yang digunakan merupakan data operasional aktual yang diperoleh melalui sistem monitoring inverter selama periode pengamatan tanggal 22–23 Maret 2026.

Tahapan penelitian diawali dengan pengumpulan data operasi yang meliputi produksi energi PLTS, produksi energi PLTB, daya beban, serta kondisi baterai berdasarkan nilai *State of Charge* (SOC). Selanjutnya dilakukan validasi data untuk memastikan data yang dianalisis lengkap dan sesuai dengan kondisi operasi sistem. Data yang telah valid kemudian diolah menjadi data energi harian untuk menghitung produksi energi masing-masing pembangkit, total energi sistem hybrid, dan kebutuhan beban listrik. Analisis selanjutnya dilakukan dengan membandingkan energi yang dihasilkan sistem terhadap kebutuhan beban serta mengevaluasi perubahan nilai SOC sebagai indikator kinerja sistem penyimpanan energi. Berdasarkan hasil analisis tersebut, dilakukan evaluasi terhadap kemampuan sistem hybrid dalam menjaga kontinuitas pasokan listrik dan keandalan operasi pada sistem off-grid.



Gambar 1 Rangkaian Sistem

Gambar 1 menunjukkan konfigurasi sistem hybrid PLTS dan PLTB off-grid yang terdiri atas PLTS 8,25 kWp, PLTB 1 kW, inverter hybrid 5 kW, dan baterai lithium 48 V 100 Ah. Sistem dirancang untuk memenuhi kebutuhan beban listrik melalui pemanfaatan energi surya dan energi angin yang terintegrasi dengan sistem penyimpanan energi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Hasil penelitian Produksi energi PLTS dan PLTB dianalisis untuk mengetahui kontribusi masing-masing sumber energi terhadap sistem hybrid off-grid di Pulau Pagerungan Kecil. Hasil produksi energi selama periode pengamatan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil Produksi PLTS dan PLTB

Tanggal	Energi PLTS (Wh)	Energi PLTB (Wh)
22 Maret 2026	18.642	1.277
23 Maret 2026	27.853	1.123

Berdasarkan Tabel 1, energi yang dihasilkan PLTS meningkat dari 18.642 Wh pada tanggal 22 Maret 2026 menjadi 27.853 Wh pada tanggal 23 Maret 2026. Sementara itu, energi PLTB sebesar 1.277 Wh dan 1.123 Wh pada periode yang sama. Hasil tersebut menunjukkan bahwa PLTS menjadi sumber energi utama dalam sistem hybrid dengan kontribusi energi yang jauh lebih besar dibandingkan PLTB. Peningkatan produksi energi pada tanggal 23 Maret 2026 dipengaruhi oleh daya keluaran PLTS yang lebih tinggi, sedangkan produksi energi PLTB cenderung berfluktuasi mengikuti perubahan kecepatan angin. Meskipun kontribusi PLTB relatif kecil, keberadaannya tetap mendukung kontinuitas pasokan energi pada sistem off-grid.

Analisis Kinerja Baterai

Kinerja baterai dianalisis berdasarkan perubahan nilai *State of Charge* (SOC) selama periode pengamatan untuk mengetahui kemampuan sistem penyimpanan energi dalam mendukung operasi sistem hybrid. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa nilai SOC mengalami fluktuasi yang dipengaruhi oleh produksi energi PLTS, PLTB, dan kebutuhan beban listrik.



Gambar 3 Grafik Perubahan *State Of Charge* (SOC)

Berdasarkan Gambar 3, perubahan nilai SOC menunjukkan bahwa baterai mampu merespons kondisi operasi sistem hybrid dengan baik. Nilai SOC meningkat ketika produksi energi dari PLTS dan PLTB melebihi kebutuhan beban dan menurun saat baterai digunakan untuk menyuplai energi. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem penyimpanan energi berfungsi secara efektif dalam menjaga keseimbangan antara produksi dan konsumsi energi, sehingga mendukung keandalan sistem hybrid PLTS–PLTB off-grid di Pulau Pagerungan Kecil.

Analisis Keandalan Sistem Hybrid PLTS–PLTB

Keandalan sistem hybrid dianalisis berdasarkan kemampuan sistem dalam menghasilkan energi listrik, mempertahankan kapasitas penyimpanan energi, dan memenuhi kebutuhan beban selama periode pengamatan. Hasil evaluasi kinerja sistem ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Parameter Operasi Sistem Hybrid PLTS–PLTB Selama Periode Pengamatan

Parameter	22 Maret 2026	23 Maret 2026
Energi PLTS (kWh)	18,642	27,853
Energi PLTB (kWh)	1,277	1,123
Total Energi Hybrid (kWh)	19,919	28,976
SOC Awal (%)	67	45
SOC Akhir (%)	47	89
Total Beban (kWh)	22,914	12,107

Berdasarkan Tabel 2, energi yang dihasilkan sistem hybrid meningkat dari 19,919 kWh pada tanggal 22 Maret 2026 menjadi 28,976 kWh pada tanggal 23 Maret 2026. Peningkatan tersebut terutama dipengaruhi oleh

produksi energi PLTS yang lebih tinggi, sementara kontribusi PLTB relatif lebih kecil. Dari sisi penyimpanan energi, nilai SOC akhir meningkat dari 45% menjadi 89%, menunjukkan bahwa energi yang dihasilkan sistem mampu mendukung proses pengisian baterai. Selain itu, kebutuhan beban pada tanggal 23 Maret 2026 lebih rendah dibandingkan tanggal sebelumnya sehingga energi yang tersedia dapat dimanfaatkan secara lebih optimal. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa integrasi PLTS, PLTB, dan baterai mampu menjaga kontinuitas pasokan energi pada sistem off-grid.

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa sistem hybrid PLTS–PLTB mampu beroperasi dengan baik dalam memenuhi kebutuhan energi listrik di Pulau Pagerungan Kecil. Produksi energi yang didominasi oleh PLTS, didukung oleh kontribusi PLTB dan sistem penyimpanan energi baterai, memungkinkan pasokan listrik tetap tersedia selama periode pengamatan. Peningkatan total energi hybrid pada tanggal 23 Maret 2026 diikuti oleh peningkatan nilai *State of Charge* (SOC) akhir baterai, yang menunjukkan bahwa sistem tidak hanya mampu melayani kebutuhan beban tetapi juga menyimpan cadangan energi untuk mendukung operasi berikutnya.

Temuan ini sejalan dengan penelitian Hernawan et al. (2024) yang menunjukkan bahwa sistem hybrid mampu menyediakan energi listrik secara andal melalui analisis produksi energi dan performa sistem dalam memenuhi kebutuhan beban, meskipun penelitian tersebut diterapkan pada sistem PLTS hybrid di lingkungan gedung. Selain itu, Hassan et al. (2023) menjelaskan bahwa integrasi beberapa sumber energi terbarukan dengan sistem penyimpanan energi dapat meningkatkan keandalan dan kontinuitas pasokan listrik, khususnya pada sistem yang beroperasi secara off-grid. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa integrasi PLTS, PLTB, inverter, dan baterai mampu meningkatkan kontinuitas pasokan energi serta menjaga keandalan sistem kelistrikan off-grid pada daerah kepulauan yang belum terhubung dengan jaringan listrik utama.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penulisan tersebut peneliti menarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem hybrid PLTS–PLTB off-grid di Pulau Pagerungan Kecil memiliki kinerja yang baik dalam menghasilkan energi listrik, dengan kontribusi terbesar berasal dari PLTS. Produksi energi hybrid tercatat sebesar 19,919 kWh pada tanggal 22 Maret 2026 dan meningkat menjadi 28,976 kWh pada tanggal 23 Maret 2026.
2. Sistem penyimpanan energi baterai mampu mendukung operasi sistem hybrid melalui proses *charging* dan *discharging* yang ditunjukkan oleh perubahan nilai SOC selama periode pengamatan. Kombinasi PLTS, PLTB, dan baterai mampu menjaga kontinuitas pasokan energi serta meningkatkan keandalan sistem kelistrikan off-grid dalam memenuhi kebutuhan beban listrik di Pulau Pagerungan Kecil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dosen Pembimbing ibu Ir. Andi Ulfiana., M.Si., Ibu Fitri Wijayanti, S.Si., M.Eng Serta Pembimbing Industri Dana Saputra. S.ST., M.M.Saya yang telah memberikan bimbingan, kritikan, dan saran yang baik dan menyelesaikan penelitian. Selain itu, penulis juga berterima kasih kepada seluruh pihak yang ambil bagian dalam penyusunan tugas akhir ini.

REFERENSI

- [1] Q. Hassan, S. Algburi, A. Z. Sameen, H. M. Salman, dan M. Jaszczur, “A review of hybrid renewable energy systems: Solar and wind-powered solutions: Challenges, opportunities, and policy implications,” *Results Eng.*, vol. 20, hal. 101621, Des 2023, doi: 10.1016/j.rineng.2023.101621.
- [2] Sudarmanto Hasan, Marini Susanti Hamidun, dan Dewi Wahyuni K. Baderan, “Manajemen Sumber Daya Energi Terbarukan : Optimalisasi PLTS-PLTB untuk Kelistrikan Berkelanjutan di Pulau Dudepo,” *Konstr. Publ. Ilmu Tek. Perenc. Tata Ruang dan Tek. Sipil*, vol. 3, no. 3, hal. 36–45, Mei 2025, doi: 10.61132/konstruksi.v3i3.854.
- [3] Z. Nursallam, A. A. S. Ramchie, dan V. F. Aror, “Optimization of Hybrid Power Generation Systems (PLTS & PLTB) in the Tondano Lake Coastal Area,” *J. Elektr.*, vol. 4, no. 2, hal. 21–32, Des 2025, doi: 10.65485/elektrik.v4i2.1206.
- [4] A. E. Lewi, K. A. Widodo, dan B. R. P. D. Palevi, “Perancangan Sistem Hybrid PLTS dan PLTB off Grid pada Skala Rumah Tinggal di Daerah Perbukitan,” *Magnetika*, vol. 08, no. 2, hal. 280–290, 2024.
- [5] M. Kouhi, M. Moutchou, dan A. A. Elmahjoub, “Sizing optimization of a standalone PV/wind hybrid energy system with battery storage using a genetic algorithm,” *Int. J. Power Electron. Drive Syst.*, vol. 16, no. 2, hal. 1208–1218, 2025, doi: 10.11591/ijpeds.v16.i2.pp1208-1218.
- [6] R. SW, “ANALISIS PERENCANAAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA HYBRID

- DENGAN HOMER PRO DI PANTAI LIANG AMBON MALUKU,” *Maj. Ilm. Swara Patra*, vol. 13, no. 2, hal. 15–32, Sep 2023, doi: 10.37525/sp/2023-2/453.
- [7] D. D. D. P. Tjahjana *et al.*, “Economic Feasibility of a PV-Wind Hybrid Microgrid System for Off-Grid Electrification in Papua, Indonesia,” *Int. J. Des. Nat. Ecodynamics*, vol. 18, no. 4, hal. 811–818, 2023, doi: 10.18280/ij dne.180407.
- [8] M. Ridho Ramadan, “ANALISIS EFISIENSI ENERGI SISTEM HYBRID PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA,” 2022.
- [9] N. Q. Nawafilah, H. R. Agustapraja, dan N. Purnomo, “Penerapan Sistem Hybrid Pembangkit Listrik Tenaga Angin Dan Tenaga Surya Application Of Hybrid System Of Wind Power And Solar Power In Pataan,” *J. Mandala Pengabd. Masy.*, vol. 3, no. 2, hal. 174–180, 2022.
- [10] A. F. Hernawan, E. Mulyana, dan B. Trisno, “Evaluasi Kinerja Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Hybrid Pada Gedung Centre of Excellence Universitas,” *Transm. J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 26, no. 1, hal. 31–39, 2024, doi: 10.14710/transmisi.26.1.31-39.